



EESTI MAAÜLIKOOL

Tartu Tehnikakolledž

Jaagup Ajaots

HUMALAISTANDUSE NIISUTUSSÜSTEEM NÕMME PÕLLULE

HOP YARD IRRIGATION SYSTEM FOR NÕMME FIELD

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Biotehniliste süsteemide õppekava

Juhendajad: *Dr.Eng.* Arvo Leola, *MSc* Matis Luik

Tartu 2019

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Jaagup Ajaots		Õppekava: Biotehnilised süsteemid	
Pealkiri: Humalaistanduse niisutussüsteem Nõmme põllule			
Lehekülgi: 40	Jooniseid: 19	Tabeleid: 2	Lisasid: 2
Osakond: Biomajandustehnoloogiate õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Loodusteadused ja tehnika, T490 Biotehnoloogia Juhendaja (d): Dr.Eng. Arvo Leola, MSc Matis Luik Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2019			
Rohke veevajadusega taimede kasvatamiseks on vajalik investeering niisutussüsteemi. Niisutussüsteemi valik sõltub plaanitava niisutusala suurusest, taimeliigist ning taimede lisavee vajadusest.			
Töö eesmärgiks on analüüsida ning valida Nõmme põllule rajatava humalaistandusele sobiv niisutussüsteem. Töö tulemuseks on humalaistanduse nõuetele vastav niisutussüsteemi valik ning süsteemi sobivate komponentide nõuete välja selgitamine ja hinnastamine.			
Märksõnad: Humal, niisutussüsteemid, imbkastmissüsteem			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of applied higher education thesis	
Author: Jaagup Ajaots		Speciality: Biosystems engineering	
Title: Hop Yard Irrigation System for Nõmme Field			
Pages: 40	Figures: 19	Tables: 2	Appendixes: 2
Department: Chair of Biosystems Engineering Field of research and (CERC S) code: Natural Sciences and Engineering, T490 Biotechnology Supervisor(s): Dr.Eng. Arvo Leola, MSc Matis Luik Place and date: Tartu 2019			
In order to grow plants with high level water needs, investment in irrigation system is required. Irrigation system choice depends on irrigation area size, plant species and additional water needs. Goal of thesis was to analyze and choose irrigation system suitable for hop yard located on Nõmme field. Suitable irrigation system based on hop yard requirements is selected as a result of the analyze. In addition, suitable irrigation system component requirements are calculated and then selected based on these requirements.			
Keywords: Hop, irrigation system, drip irrigation			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. HUMAL	5
1.1. Humala kirjeldus, kasvutingimused ja istandus	5
1.2. Humala kasutusala ja kasvatamine Eestis	7
2. PÕLLUMAJANDUSLIKUD NIISUTUSSÜSTEEMID	8
2.1. Niisutussüsteemid taimekasvatuses ja mõju loodusele	8
2.2. Vihmutussüsteemid	8
2.2.1. Vihmutussüsteemist üldiselt	8
2.2.2. Käsitsi liigutatav torusüsteem	9
2.2.3. Paikne süsteem	11
2.2.4. Keskliigendiga ja teised mehaaniliselt liikuvad süsteemid	13
2.2.5. Voolikurulli ja veekahuri süsteem	15
2.3. Üleujutussüsteem	15
2.4. Uduniisutus	17
2.5. Imbkastmissüsteemid	18
3. NIISUTUSSÜSTEEMI JA TOESTUSE KAVANDAMINE NÕMME PÕLLULE	20
3.1. Nõmme põllu tutvustus ja andmed	20
3.2. Humalaistanduse nõuded	22
3.3. Niisutussüsteemi valik	24
3.3.1. Niisutussüsteemi valik Nõmme põllule	24
3.3.2. Kriteeriumite valik	24
3.3.3. Kriteeriumite võrdlustabel ja tulemused	25
4. NIISUTUSSÜSTEEMI VALIK NÕMME PÕLLU HUMALAISTANDUSELE	27
4.1. Pumbajaama valimine	27
4.2. Niisutussüsteemi komponentide valik ja hind	31
5. KOKKUVÕTE	33
KASUTATUD KIRJANDUS	34
LISAD	38
Lisa 1. Detailne planeeritav humalaistanduse plaan Nõmme põllule	39
Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (avaldamise tähtajatu piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta	40

SISSEJUHATUS

Rohke veevajadusega taimede kasvatamiseks on vajalik investeerimine niisutussüsteemi. Niisutussüsteemi valik ning hind sõltub eelkõige plaanitava niisutusala suurusel, taimeliigist ning taimede lisavee vajadusest.

Antud töö eesmärgiks on analüüsida ning valida Nõmme põllule rajatava humalaistandusele sobiv niisutussüsteem ning tutvustada humalaistandusele iseloomulikku toetussüsteemi.

Esmaseks ülesandeks on tutvuda humala taimega, et mõista täpsemalt niisutussüsteemi rajamise vajadust ning nõudeid. Selleks luuakse ülevaade nii humalast kui ka humala taime kasvutingimustest. Lisaks tutvustatakse humala kasutusalasid ning tuuakse välja tähtsamad punktid istanduse nõuetest just niisutussüsteemi rajamise vaatepunktist.

Teiseks ülesandeks on tutvustada põllumajanduslikke niisutussüsteeme, mille seast saab vastavalt niisutussüsteemi kirjeldustele välja valida humalaistandusele sobiva lahenduse. Autor käsitleb kõiki nelja niisutussüsteemi põhigruppi ning toob lisana välja ka niisutussüsteemide mõju loodusele.

Kolmandaks ülesandeks on valida välja sobiv niisutussüsteem Nõmme põllule, arvestades põllumaa iseärasusi (sh olemasolev niisutussüsteem) ning istanduse rajaja nägemust. Lisaks toob autor välja ilmajaama andmed antud maatükil. Eesmärgini jõudmiseks kasutab autor nii välistamiseetodit kui ka võrdlustabelit.

Neljandaks ülesandeks oli välja valitud niisutussüsteemi planeering. Vajalike komponentide leidmiseks teostati mitmeid arvutusi ning lisaks arvutati nende ligikaudne maksumus.

1. HUMAL

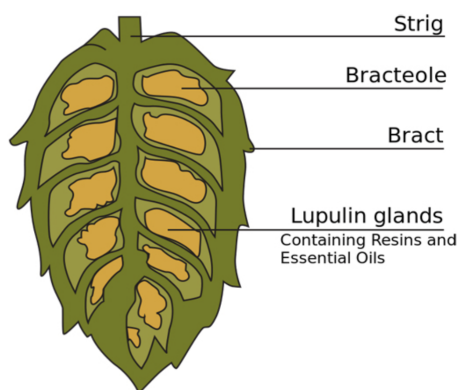
1.1. Humala kirjeldus, kasvutingimused ja istandus

Mitmeaastane (Harilik) humal ehk *humulus lupulus* kuulub kanepiliste sugukonda. Kasvukõrgus on sellel vääntaimel 3...7 meetrit ning varre jämedus kuni 1 cm [1].

Humalal on erineva välimusega emas- ja isasõisikud, mis kasvavad eri taimedel - seega kuulub humal kahekojaliste taimede hulka [2]. Õied on humalal rohekasvalged või kollakad [3]. Isasõisikud on humalal kohe pikad ja hõredad, kuid emasõisikud (Joonis 1) on esialgu vaid 1 cm pikkused. Valmimisel pikenevad emasõisikud kuni 4 cm pikkuseks ning meenutavad kuusekäbi, mille nõ käbisoomustena paistavad humala viljade kandlehed. Ainult humala emastaimede õite kandlehtedel on arvukalt kollakaid näärmeid, mis sisaldavad humalale kuulsuse toonud vedelikku (sh eeterlik õli, humalhape) lupuliini [4].

Humala hästi arenenud maa-alune tugev ja pikk risoom annab rohkelt külgharusi, seega piisab paljunemiseks ainult ka emastaimedest [2].

Humal kasvab Põhja-Ameerikas, Aasias ning Euroopas, sh kasvab humal ka Eesti niiskemates metsades [4] [5]. Humala eelistatud kasvukohtadeks on looduslikult jõgede ja ojade kaldatihnikud [6].



Joonis 1. Humala emastaimede käbi [8] (*strig* – vars, *bracteole* – kattleht, *bract* – kandleht, *lupulin glands* – lupuliini näärmed, sisaldavad mõruaineid ja eeterlikke õlisid).

Kastmist vajab humal keskmiselt, eelistab kasvada poolvarjus [5]. Pinnastest eelistab pigem niisket ja huumusrikast [7].

Humal on küll kohanenud kasvama erinevates tingimustes, kuid vajab kasvamiseks piisavalt niiskust ja soojust, et olla saagikas. Kui sademeid on vähe ning põhjavesi asub sügavamal kui 1,5 m, tuleb kasutusele võtta niisutussüsteem [9]. Niiskus on eelkõige oluline humala käbide kasvu algul, kohe pärast õitsemist [10]. Liigne niiskus mõjub humalale sama hävitavalt kui liigne kuivus [11]. Lisaks on oluline kasutada taimekaitsevahendeid humala kasvatamisel kahjurite, umbrohtude ja haiguste tõrjumiseks.

Kuivas piirkonnas on hooajal (maikuust kuni koristuseni) vajalik lisaniisutus ligikaudu 700...800 mm [30]. Üks humala taim vajab nädalas ligikaudu 60 l vett [42].

Istanduse rajamine ja koristus

Oma kiire ja kõrge kasvu tõttu vajab humal toetussüsteemi (Joonis 2). Toetussüsteemid saab jagada omakorda kaheks - kõrge ning madal, kuid tunduvalt laiemalt levinud ja kauem kasutuses on olnud kõrge toetussüsteem. Sellistes istandutes on kasutusel kookoskõis, mis kinnitub omakorda 6...7 m kõrgustele kaablitele [12]. Kaablit hoiavad omakorda üleval massiivsed toetuspostid, mis on kinnitatud maa sisse ankrutega. Toetuspostide asetusel ja üldisel toetussüsteemil ei ole kindlaid reegleid - see on kasvataja enda eelistus ja paigutus on igal istandusel varieeruv.



Joonis 2. Humalaistanduse toetussüsteem [32].

Humalate koristuseks (koristus augusti keskel või lõpul [35]) on vajalik masinate (eelkõige 7 m kõrgune teleskooplaaduri) ligipääs humalaistandusse. Humala taime käbid lõigatakse toetussüsteemi küljest koos lühikese raoga lahti ning taim viiakse käbide

korjandusmasinasse. Käbide korjamisel peab olema ettevaatlik, kuna humal võib oma mürgisuse tõttu tekitada õrnema nahaga inimestele nahalööbe [35].

1.2. Humala kasutusala ja kasvatamine Eestis

Humalast oleneb õlu spetsiifiline mõru maitse, lõhn, värvus ja pikem säilivus [4]. Humal võeti esialgu kasutusele just konservandina, mis ei lasknud õlul rikneda, kuid tänapäeval kasutatakse seda peamiselt õlle maitsestajana [33].

Lisaks kuulsale õlle koostisosaks olemisele, on humalal teisigi märkimisväärsed kasutusalsi tervise valdkonnas (kasutatud ravimtaimena juba ligikaudu tuhat aastat) [34]. Humalast saab teha nii erinevaid tõmmiseid, teed kui ka mähiseid (kombineerides neid lisaks teiste ravimtaimedega) [35]. Humalat saab kasutada unetuse, närvilisuse ja isupuuduse raviks. Lisaks aitab humal leevendada seedehäireid ning on kasulik taim reumavalude ravimiseks [33]. Humalakäbitõmmise abil on võimalik leevendada neeru- ja südamehaigust [34].

Ilu valdkonnas leiab humal samuti kasutust. Nimelt aitab juuste väljalangemist pidurdada humalakäbikeedise kasutamine. Humala ekstrakt aitab parandada kahjustunud nahka (sh ekseeme ja nahapõletikku). Lisaks aitab humal saavutada särava jume ja värskena tunduva näonaha [34][35].

Humala noori võsusi kasutatakse salati sees, valmistusviis sarnane spinatile või sparglile [35]. Humala kasutamine toidu maitsestamiseks on tõusev trend – humalat lisatakse kompvekkidesse, karastusjookidesse, juustule ning isegi kohvile maitseks [36].

Aastal 2010 lülitati humal propageerivate taimekultuuride nimekirja just tänu Saaremaale, kus on palju õlle väiketootjaid. Õlletootjad on maininud, et palju kasutatakse välismaalt sisse toodud humalat ja linnast, sest kvaliteedi poolest on nad head ning on laialdaselt poodides saadaval. Välja on selgitatud, et meie kliima ei sobi hästi humala kasvatamiseks, kuid kuna huvi on just õlletootjate poolt suur, tasub siiski proovida. Veel räägib selle kasuks asjaolu, et kliima soojenedes on Kesk-Euroopa humala kvaliteet langenud ning aromaatsamad on põhjamaised humalad [41].

2. PÕLLUMAJANDUSLIKUD NIISUTUSSÜSTEEMID

2.1. Niisutussüsteemid taimekasvatuses ja mõju loodusele

Kuivas kliimas või suure veevajadusega taimede kasvatamisel on oluline roll põllumajanduses niisutusel ja niisutussüsteemidel. Niisutus aitab kaasa saagikusele ning võitleb põldudel edukalt kuivuse vastu.

Niisutussüsteemide kasutamisel on aga ka rohkelt negatiivseid külgi. Liigne veekasutus võib jätta kuivaks nii jõgesid kui ka järvi. Samuti võib liigne niisutamine uhtuda saasteained veekogudesse, mis omakorda kahjustab magevees elavaid liike ja üldist ökosüsteemi. Lisaks võib saastuda joogiveeks kasutatav magevesi [37].

Põllumajanduslikud niisutussüsteemid võib jaotada vastavalt meetodite ja vahendite kasutusele neljaks põhigrupiks.

1. Vihmutite kasutamine ehk vihmutsüsteemid
2. Lahtise vee juhtimine vagudesse ehk üleujutussüsteemid
3. Pihustite kasutamine ehk uduniisutus
4. Vajaliku vee otse taime juurteni viimine ehk imbkastmissüsteemid

Eestis pole põldude niisutamine laialt levinud just oma kalliduse tõttu, kuid niisutamist kasutavad kuival perioodi tihti maasikakasvatajad.

2.2. Vihmutussüsteemid

2.2.1. Vihmutussüsteemist üldiselt

Vihmutussüsteemi puhul jõuab kastmisvesi taimedeni vihmaveega sarnaselt. Vesi juhitakse pumbaga läbi torude süsteemi. Seejärel surutakse vesi läbi vihmuti või pihusti, mille tulemusena tekivad väikesed langevad veepiisad. Ühtlase veevoolu tagamiseks tuleb valida konkreetsele niisutussüsteemile sobiv pump [17].

Vihmutussüsteemid võib jagada omakorda neljaks:

1. Käsitsi liigutatav torusüsteem
2. Paikne süsteem
3. Keskliigendiga ja teised mehaaniliselt liikuvad süsteemid
4. Voolikurulli ja veekahuri süsteem [17][18]

Vihmutisüsteemi valik sõltub niisutatava pinna suuruses ning rahalistest võimalustest. Lisaks on teatud süsteemidel vajalik lisaseadmete (nt haagis) või tööjõu kasutamine.

Vihmutussüsteem on sobilik kõikidele mullatüüpidele (va raske savi). Vihmutus on eelõige sobilik suure külvinormidega viljadele (sh õlikultuuridele ja köögiviljadele). Vihmutuse õige kasutuse puhul säästab see vett ja on kõrge efektiivsusega. Vee hulga kontrollimine on selle süsteemi puhul lihtne.

Vihmutussüsteem tekitab soodsa mikrokliima ning seda on võimalik kasutada ebatasastel pindadel. See võimaldab kasutada enamus turul olevaid kemikaale ja väetisi. Süsteem on suhteliselt ummistuste kindel, kuna pihustite otsad ja läbivool on suured.

Negatiivsest küljest on süsteemi rajamine kallis ning energia tarbimine on stabiilselt suur. Tugeva tuule ja ka kuuma ilmaga on süsteemi efektiivsus madal (osa vett aurustub). Pidevalt niiske keskkond soodustab haiguste levikut [27].

Vihmutussüsteem sobib kasutamiseks nii erinevatel muldadel, taimedel kui ka topograafiliselt ebatasastel põllumaadel. Küll aga ei sobi selline süsteem taimedele, millel on kasutatud taimekaitse preparaate, kuna vihmuti peseks preparaadi lihtsalt maha. Lisaks on vihmatusüsteemi efektiivsus madal kui keskmine tuule tugevus on üle 4 m/s [18].

2.2.2. Käsitsi liigutatav torusüsteem

Käsitsi liigutatava torusüsteemi (Joonis 3) pöörlevad vihmudid on kinnitatud alumiiniumist või PVC toru külge 10 m vahedega. Vihmutit tõstetakse käsitsi mööda peatoru järjest edasi kuni soovitud ala saab niisutatud [24].

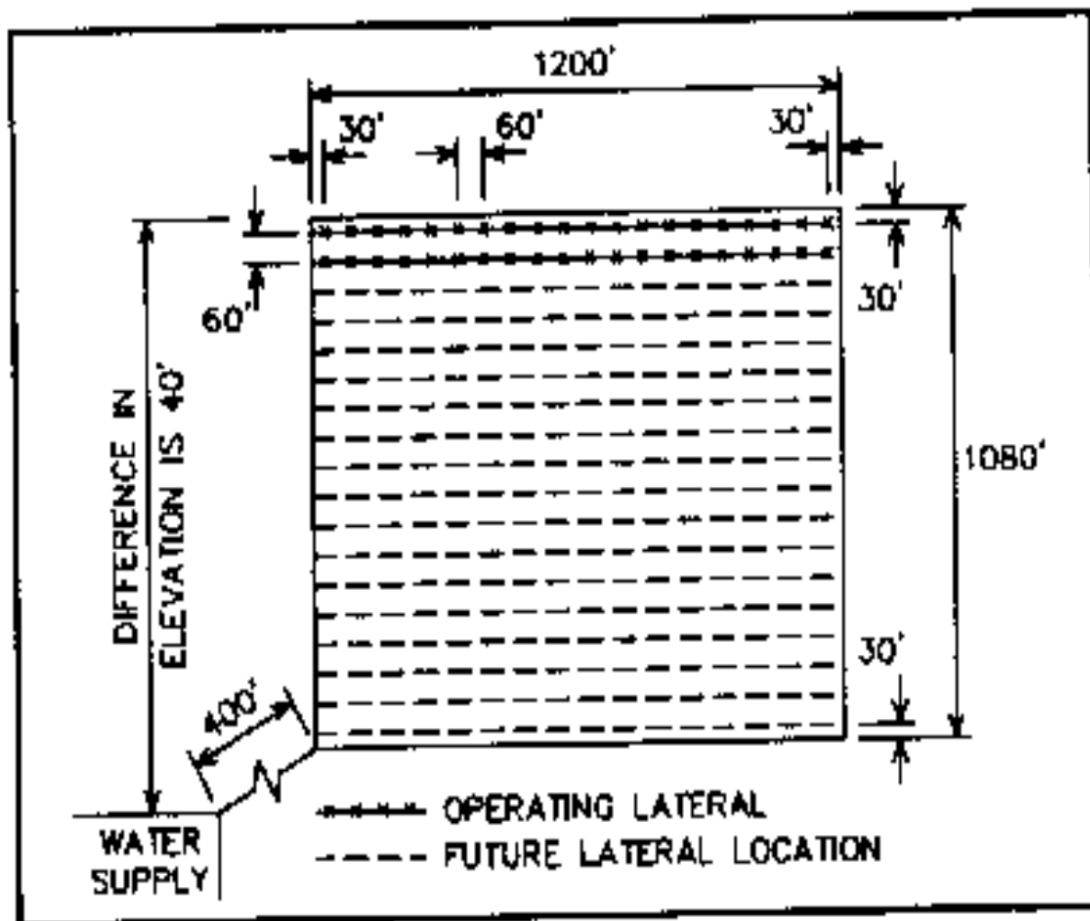


Joonis 3. Käsitsi liigutatav torusüsteem [20].

Väikese kuni keskmise suurusega põllumajandusettevõtetele on see süsteem kõige mõistlikum just paigalduskulude poolest.

Süsteem toimib madala rõhuga (2,0...3,5 bar) ning seega puudub võimsa pumba vajadus. Vihmutid on paigaldatud ühtlaste vahedega (6...12 m) külgtorude külge, mis on veel omakorda ühendatud ühtlaste vahedega (6...12 m) peatoru külge [22].

Joonis 4 näitab tüüpilist plaani käsitsi liigutava alumiinium torusüsteemile. Antud näites on töös korraga kaks niisutusala. Vihmutite kaugus teineteisest on 18 m ja külgtorude kaugus teineteisest on samuti 18 m. Esimene ja viimane vihmuti on põllu äärest 9 m kaugusel, et ühtlustada niiskust terve põllu lõikes [23].



Joonis 4. Käsitsi liigutatav torusüsteemi skeem [23] (*water supply* – veeallikas, *operating lateral* – töös olev niisutustoru, *future lateral location* – järgmine töösse minev niisutustoru asukoht). Mõõdud jalgades (1 jalg = ~30,5 cm).

Niisutusalasid ja vihmuteid liigutatakse tavaliselt kaks korda päevas, Joonis 3 lähtudes võimaldab see 4,5 päevaga niisutada ligikaudu 12 ha suurust põllumaad. Iga toru seadistus ja liigutamine käsitletakse eraldi “seadena” ehk antud näites on kokku 9 “seadet”. Torude liigutamiseks kulub umbes 22,5 töötundi [23].

2.2.3. Paikne süsteem

Tavaliselt koosneb selline (Joonis 5) süsteem alumiinium või PVC torudest. Võrreldes käsitsi liigutatava süsteemiga, läheb vaja rohkem torude materjali, kuna torustik jääb paika terveks niisutushooajaks. Peatoru on tavaliselt maapealne alumiinium toru või maa alla kaevatud PVC toru [23].

Torustik kaevatakse maa sisse ning selle külge paigaldatakse vihmutitega püstised torud. Vihmutite vahe jääb üldiselt 12... 30 m vahele sõltuvalt vihmuti tüübist ja suurusest [24].



Joonis 5. Paikne süsteem [21].

Enamik põllumajanduslike paikseid süsteeme kasutatakse kõrge turuväärtusega taimede kasvatamiseks näiteks puuistikud, puuviljad, köögiviljad ning tubakas [23].

Paljud sellised süsteemid on modifitseeritud vastavalt kliima iseärasustele nagu jäätumiskindlus ja taimede jahutamine. Näiteks kasutatakse jäätumise vältimiseks väikseid pihusteid (3...6 mm vett tunnis). Mainitud muudatused eeldavad suurt töökindlust kogu süsteemis, et sellised eritingimused üle elada [11].

Tavaliselt jäävad vihmutid teineteisest minimaalselt 12 x 12 m ning maksimaalselt 20 x 22 m kaugusele. Kaugus on tavaliselt 50% kuni 55% vihmuti katteala diameetrist. Külgtorude kaugus ja vihmutite kaugus teineteisest sõltuvad taimede ridade vahelisest kaugusest ja taimede omavahelisest kaugusest. Vihmuti töösurve on ligikaudu 1 bar kõrgem kui imbkastmissüsteemidel [23].

2.2.4. Keskliigendiga ja teised mehaaniliselt liikuvad süsteemid

Sellised vihmatussüsteemid on paigaldatud liikuvatele platvormidele või raamidele (Joonis 6). Tavaliselt on need ehitatud liikuma napilt üle taime kõrguse, mõned süsteemid võimaldavad niisutada ka maapinna lähedalt [24].

Keskliigendiga vihmatussüsteem koosneb liikumatutest ja liikuvatest osadest (Joonis 7). Liikumatuks osadeks on vihmuti kesktorn, juhtpult ning terastorustik. Liikuvate osade alla kuuluvad terasraam, torud, vihmudid, rattad, vahetornid ning kontrollsüsteem.

Keskliigendiga vihmatussüsteemi torustik on tehtud tsingitud terasest, mille diameeter on tavaliselt vahemikus 168...254 mm. Tehased pakuvad ka torude sisu katteid, mis kaitsevad korrosiooni eest juhul kui kasutatakse süsteemi ka väetamiseks.

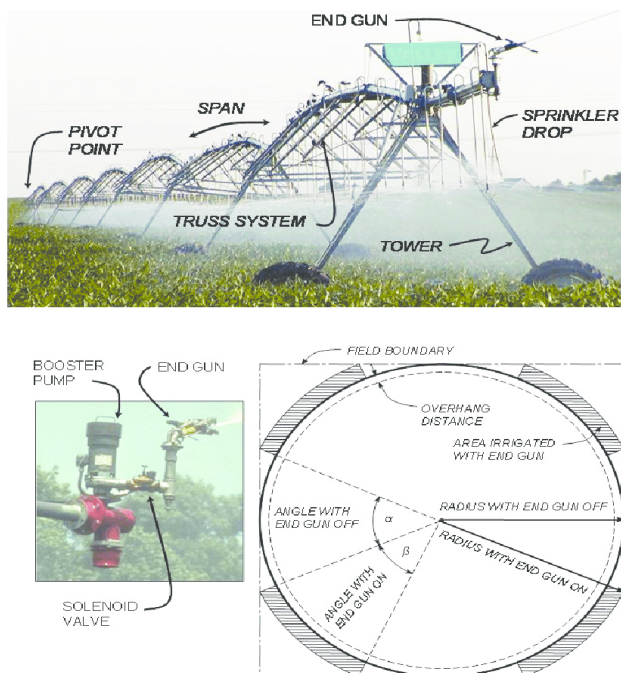
Kesktorn on püramiidi kujuline metallstruktuur, mis on niisutatava ala keskele betooni valatud. Liikuv süsteemi osa liigub ümber kesktorni (kasutades *pivoflex* süsteemi) niisutades ringikujulist ala.

Liikuva osa torud on ühendatud spetsiaalsete sfääriliste lukkudega. Selline ühendusviis lubab torudel omavahel liikuda, mis omakorda võimaldab süsteemi kasutada ebatasastel pindadel. Vahetorni vahed varieeruvad 33,2...62,5 m, olenevalt kesktorni tootjast. Mida pikem vahetorni vahe on, seda ökonoomsem on süsteem, kuid sel juhul peab säilima niisutatav ala sileda ja stabiilsena.

Vaba kõrgus torudest maapinnani on tavaliselt 2,7...5,60 m. Iga vahetorn on varustatud 0,75...1,5 hp mootoriga, mis käivituvad läbi elastse siduri [18].



Joonis 6. Keskliigendiga vihmatusüsteem [19].



Joonis 7. Keskliigendiga vihmatusüsteemi skeem [25] (*pivot point* – kesktorn, *span* – töölaius, *end gun* – sektorvihmuti, *sprinkler drop* – rippuv voolik, *truss system* – trossisüsteem, *tower* - vahetorn).

Viimane osa torustikust jääb rippu, suunates vee otse taimele. Mõned keskliigendiga vihmatusüsteemid on varustatud sektorvihmutiga rippvooliku otsas. Viimane variant ei ole parim, kuna sektorvihmuti veepiisad on liiga suured ning võivad kahjustada nii taimi kui ka

pinnast ning on tuule mõju eest vähem kaitstud. Osad tootjad on efektiivsuse tõstmiseks rippuvate voolikute pikkust suurendanud [18].

2.2.5. Voolikurulli ja veekahuri süsteem



Joonis 8. Veekahuri süsteem [29].

Kärule on paigaldatud suur voolikurull (Joonis 8), mille otsas on eraldiseisev ratastel veekahur. Vastavalt vajadusele on käru võimalik traktoriga liigutada. Kastmise alustamisel keritakse kahur poolist kaugemale. Vee surve jõul kerib voolikupool ennast kokku tagasi, liigutades seeläbi ka kahurit [24].

2.3. Üleujutussüsteem

Üleujutussüsteem (Joonis 9) on iidne meetod taimede kastmiseks. Tõenäoliselt oli see esimene kastmissüsteem, mida inimesed hakkasid kasutama põllumajanduses ning on laialt kasutusel ka tänapäeval [16].

Vesi juhitakse põllule kasutades kraave, torusid või teisi abivahendeid ujutades üle terve maa-ala. Üleujutusmeetodi puhul suudab taim omastada ligikaudu pool põllule juhitud veest. Teine pool aurustub, voolab ära või imendub juurest kaugemale mulda [16].

Kuigi üleujutussüsteem ei saa kunagi olema nii efektiivne kui selle alternatiivid, on selle süsteemi efektiivsuse parandamiseks mõned meetodid:

põllumaa tasandamine, kus vesi juhitakse taimeni gravitatsioonijõu abiga, tasandamine aitab ühtlustada vee imendumist taimedeni;

intervallidega ujutamine ehk selle asemel, et korraga põld üle ujutada, on mõistlikum seda teha osade kaupa, et vesi jõuaks imenduda;

vee taaskasutus ehk vesi, mis muidu voolaks minema, tuleks koguda madalamatesse kraavidesse ning pumbata kõrgemale alale, kus seda saab taaskasutada.

Tavaliselt ujutatakse terve põld korraga veega üle. Selline üleujutamine pärsib vee liikumist läbi kapillaaride, eriti saviste muldade puhul. Selle tulemusena suureneb märkimisväärselt vee ülevool, mille tulemusena tekib anaeroobne keskkond taime juurestikus ja liigsügav niiskus, mis pole taimedele enam kättesaadav [16].

Mulla niiskusandurid on sellise süsteemi puhul suureks abiks. Strateegiliselt hea koht andurite jaoks on niisutatava ala lõpus, erinevatel sügavustel. Selle järgi saab reguleerida intervallide vahemikku [16].



Joonis 9. Üleujutussüsteem [38].

Üleujutussüsteemi jaoks peab olema ühtlane kalle kogu niisutataval alal. Pinnas peab olema piisavalt tugev. Eeltööna on vaja välja arvutada kasutatava vee sobiv kõrgus ning kanalite suurus ja sügavus. Lisaks tuleb projekteerida vee äravool [27].

Selline süsteem aitab hoida vett täpselt taime juure piirkonnas ning võimaldab kasutada vett, mis muidu voolaks põllult ära. Sellele lisaks aitab süsteem ühtlustada vee tarvet põllul ning vajab minimaalselt tööjõudu. Masinate tööd põllul selline niisutussüsteem ei sega [27].

2.4. Uduniisutus

Uduniisutuse süsteem (Joonis 10) on sarnane vihmutussüsteemile kuid väiksema rõhu ja täpsema annustamisega, mis on eelkõige loodud atmosfääripõua leevendamiseks [28].



Joonis 10. Uduniisutus [39].

Väikesed pihustid paigaldatakse torudele, mis on maa peal, taimest 1...2,5 m kaugusel. Vee kogus on tavaliselt suurem kui imbkastmissüsteemil, tavaliselt 10...60 liitrit tunnis [28].

Uduniisutus on veesäästlik lahendus, lisaks võimaldab see säästa väetisi ja kemikaale, kuna pihustab aine otse taimele. Süsteemi on lihtne hooldada ning tööjõu kulu on antud süsteemi puhul madal [27].

Negatiivsest küljest on uduniisutuse esialgne investeering suur. Süsteemi käivitamiseks ja modifitseerimiseks peab süsteemi operaator olema koolitatud. Suure süsteemi automatiseerimine on keerukas protsess [27].

2.5. Imbkastmissüsteemid

Imbkastmissüsteemi liinid (Joonis 11) koosnevad tavaliselt eelnevalt kokku pandud plastiktorudest, millele on paigaldatud tilgutid tavaliselt 30...90 cm vahedega. Kõik tilgutid käituvad regulaatoritena, et kontrollida väljuva vee kogust ja kiirust. Tänapäeval olemasolevatel tilgutitel on palju ühiseid omadusi kuid siiski erinevad teineteisest suuruse, kuju ja siseehituse poolest. Tilgutite läbilaskmisvõime varieerub 2...7,5 l tunnis ja erinevate läbilaskmisvõimega tilguteid võib paigaldada sama toru külge. See võimaldab ühte süsteemi kasutada erineva veevajadusega taimedel. Olemas on ka tilguteid, mis võimaldavad reguleerida vee kiirust väiksest tilgast kuni ühtlase veejoani [15].



Joonis 11. Imbkastmissüsteem [40].

Imbkastmissüsteemid on mõeldud erinevate kultuuride kastmiseks katmikaladel ja avamaal. Imbkastmise funktsioon on viia kastmisvesi ja toitained taimede juurteni. Tilgutid peavad asetsema mullas või muus substraadis (kivivill, perliit, kookosmatt jne) [13].

Imbkastmissüsteem võimaldab viia vesi ja toitained taime juurteni stabiilselt ja mõõdukas tempos (2...20 l/h) läbi peenikeste plastiktorude mis on varustatud tilgutitega. Vesi juhitakse

taime juure ligidale ning niisutatakse taimetele vajalik osa mullas, erinevalt maapealsetest kastmissüsteemidest, mis niisutavad tervet mulla profiili [14].

Imbkastmissüsteemi puhul on võimalik kasutada efektiivselt väetisi ja kemikaale (mis ei pea puutuma kokku taimete maapealse osaga). Sellele lisaks on süsteemis vee kasutamine efektiivne ning süsteemi vett saab uuesti kastmiseks kasutada. Tööjõu kulu on minimaalne ning energiakulud on väiksemad kui alternatiividel (madala rõhu tõttu) [27].

Põllumaa topograafiline seisukord ja mullatüüp ei oma selle süsteemi puhul tähtsust. Lisaks on mulla erosioon minimaalne. Veejaotus on kogu süsteemi ulatuses ühtlane ning süsteem võimaldab suurt vee reguleerimise vahemikku (tavaliselt 2..20 l/h) [27].

Umbrohu kasv ning haiguste levik on pärsitud, kuna taimete maapealne osa ei ole pidevalt niiske [27].

Teisalt on imbkastmissüsteemi esialgne investeering suur. Ummistuste vältimiseks peab vesi olema filtreeritud ning süsteem korrapäraselt hooldatud. Osad imbvooliku komponendid tuleb peale saagi koristust välja vahetada või puhastada. Imbkastmissüsteem vajab eelnevalt uurimustööd ja väljaõpet, et vältida vee ebaefektiivset kasutust ja taimede liigkastmist [27].

3. NIISUTUSSÜSTEEMI JA TOESTUSE KAVANDAMINE NÕMME PÕLLULE

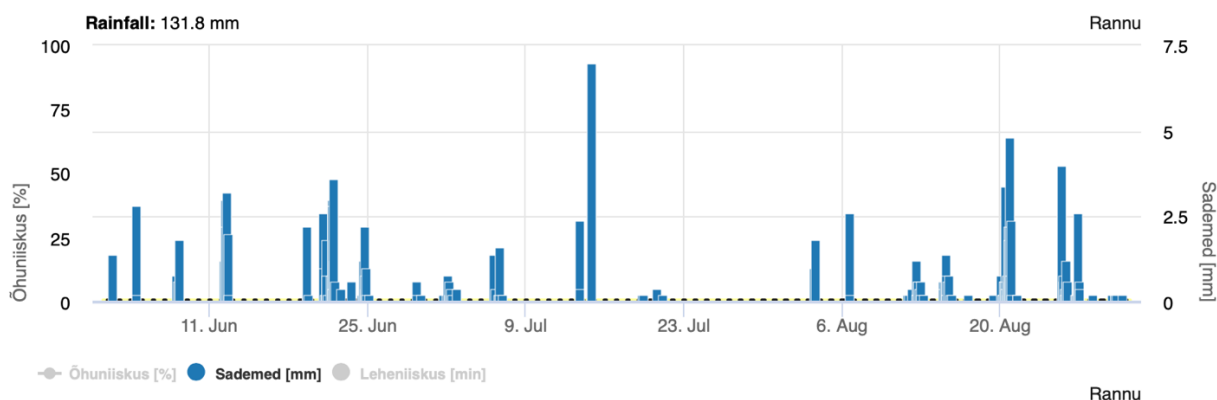
3.1. Nõmme põllu tutvustus ja andmed

Nõmme põld asub Tartu maakonnas, Elva vallas, Kulli külas. Põllu katastrinumber on 66601:008:0426. Sihtotstarve on maatulundusmaa 100% (savine muld), pindalalt 7,14 ha (sh haritav maa 7,04 ha). Põllu laius on ligikaudu 220 m ning pikkus 345 m.

Hetkel kasvatatakse põllul teravilja, kuid plaan on rajada aastaks 2021 põllule humalaistandus. Põllule on rajatud ka niisutussüsteem, mida on plaan võimaluse korral osati (torustik jne) kasutada ka humalaistanduse jaoks.

Ilmajaama andmed

Vastavalt Nõmme põllule paigaldatud ilmajaama (*FieldClimate, iMetos 3.3*) andmetele (Joonis 13) oli alates aprill 2018 kuni oktoober 2018 oli sademeid keskmiselt 243 mm. Sellest suvekuudel (juuni - august) oli sademeid 131 mm.

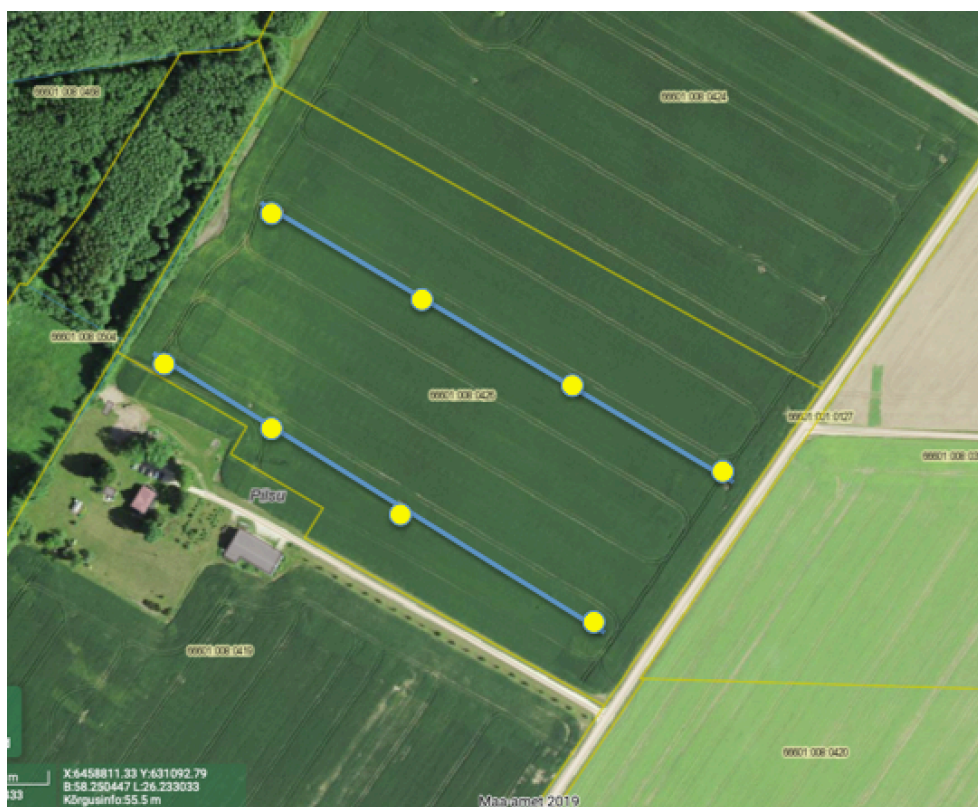


Joonis 12. Ilmajaama andmete graafik.

Olemaolev niisutussüsteem

Planeeritaval alal on 1970ndatel loodud veekahuri sarnane niisutussüsteem kahe konsooliga vihmutusagregaadile DDA-100M, haardelaiusega 100 m. Sel ajal oli tegemist kaasaegseima moderniseeritud süsteemiga Nõukogude Liidus [26].

Süsteem koosnes järgnevatest osadest: lintraktor DT-75 koos pumbajaamaga, statsionaarne vee torustik, torustikuga (Joonis 13, sinised jooned) seotud hüdrandid (Joonis 13, kollased punktid), lintraktor DT-75 koos kaugjoalise vihmutiga DDN-70 [26]. Olemaoleva süsteemi torustiku pikkus Koopsi järvest hüdrandini on 800 m.



Joonis 13. Olemaolev niisutussüsteem.

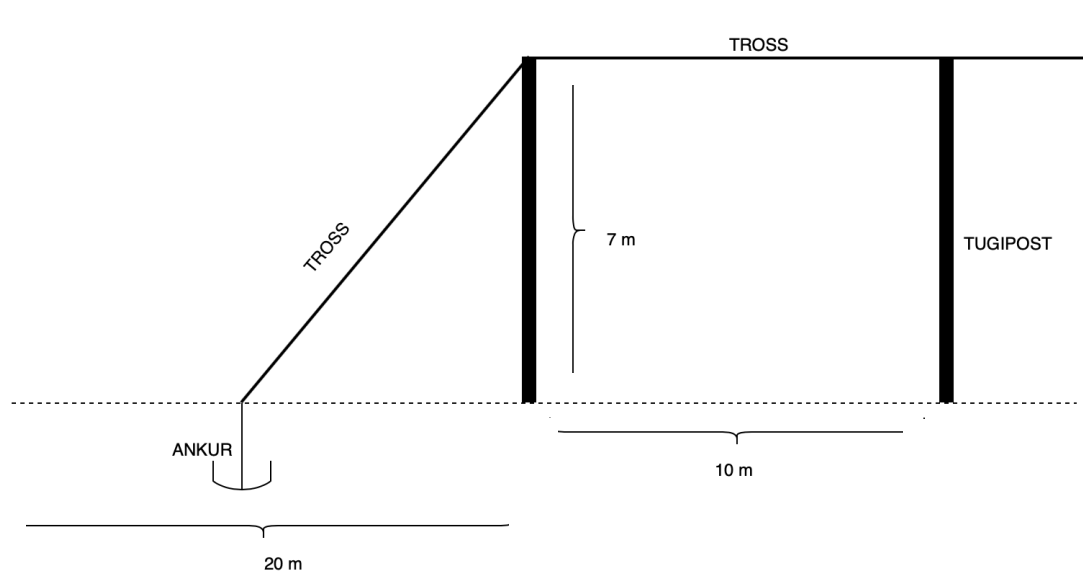
Kaugjoaline vihmuti DDN-70 kasutatakse DT-75 jõuvõtu võllilt. Masina osadeks on peareduktor, konsoolpump, tigureduktor, vihmutusaparaat, pealtvætamispaak, imitoru, vaakumsüsteem, kardaanvõll, tugiketid ja raam. Kastmisega võib kastmissüsteem anda mineraalvætisi. Vätised laaditakse pealtvætamispaaki enne vihmutamise alustamist, Paagis need lahustuvad ja lahus satub vähehaaval imisüsteemi ning kantakse veejoaga põllule laiali. Masina jõudlus on 0,85 ha/h [26].

3.2. Humalaistanduse nõuded

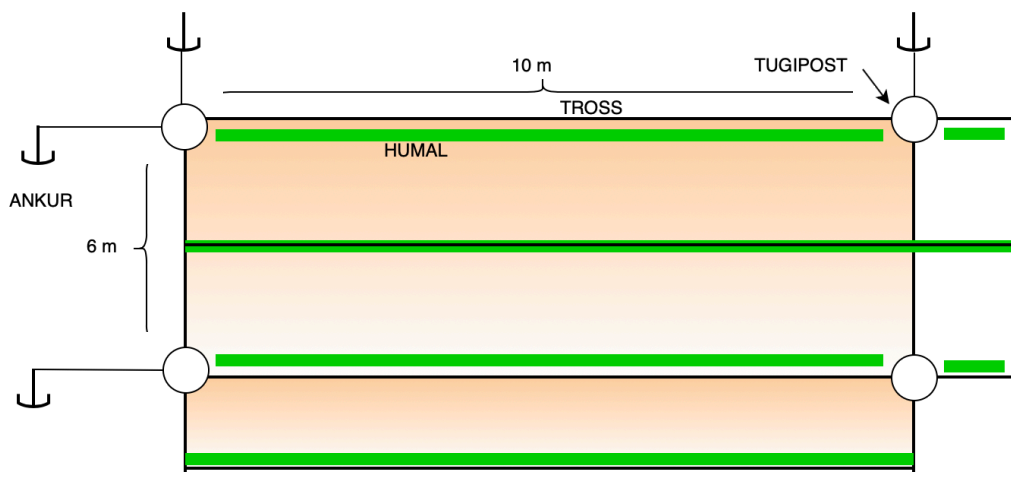
Humalaistanduse rajaja on määranud Nõmme põllu humalaistandusele teatud nõuded, mis mõjutavad ka niisutussüsteemi planeeringut.

Humalaid istutatakse (Joonis 14) 150 meetri pikkuste ridadena ja taimed istutatakse ritta 1 m vahedega. Ridade vahel peab jääma 3 m (detailsem plaan vt. Lisa 1). Istanduse suurus võiks olla ligikaudu hektar. Võimaluse korral ära kasutada metsapoolset, otse maja kõrval olevat pinda.

Humala tugisüsteemi postid kõrgusega 7 m on rea peal paigaldatud iga 10 m tagant. Tugisüsteem ise on istanduses igal teisel real (Joonis 15). Igas põllu ääres peab olema vähemalt 20 m vaba pinda, kuhu saab paigaldada toestussüsteemi ning pääseb masinatega liikuma. Tugipostid on äärtest toetatud trossi ja ankruga.



Joonis 14. Tugiposti toetus.



Joonis 15. Tugiposti toetus pealt vaates.

Rajatav süsteem peaks olema rajaja sõnul eelkõige vastupidav ning lihtne ja võimalikult automatiseeritud (väikesed tööjõukulud). Äärmiselt hea oleks rajaja sõnul kui saaks ära kasutada põllul juba olemasolevat süsteemi, et saaks rajada niisutussüsteemi võimalikult madala alginvesteeringuga. Mulla erosiooni vältimiseks kastetakse humalaid tsüklitena - 3 korda päevas (hommik, lõuna, õhtu) kestusega 2 h.



Joonis 16. Istanduse asukoht [31].

Istandusele sai põllule valitud sobiv koht (Joonis 16). Põllu pikkuseks sai 150 m. Samuti valisime põllutükile sobiva laiuse, milleks on 45 meetrit. Antud maalapile jääb ka 2 vana veesüsteemi hüdranti (Joonis 16, punased ringid), millest kasutame ühte. Kokku on valitud maa-alale võimalik istutada 2122 humala taime.

3.3. Niisutussüsteemi valik

3.3.1. Niisutussüsteemi valik Nõmme põllule

Kastmissüsteemi valik tehakse erinevate võimalike niisutussüsteemide võrdluse abil – kas antud meetod täidab tingimuse või mitte. Kõige sobivam meetod on täitnud kõige rohkem tingimusi.

Esmane niisutussüsteemide valik on tehtud juba eelnevalt, kuna mõned niisutussüsteemid ei ole humalaistandusele sobilikud. Koheselt saab välistada vihmatusüsteemid, uduniisutus ning veekahurid.

Vihmutussüsteemid välistatakse seetõttu, et humal vajab kasvamise ajal taimekaitsevahendeid – vihmutus peseks selle maha ning kaitsevahendite kasutamine oleks ebaefektiivne. Lisaks on näiteks keskliigendiga vihmatusüsteem sobimatu just humala pika ja tiheda kasvu tõttu.

Uduniisutuse puhul saab määravaks süsteemi liigne keerukus ning suure süsteemi automatiseerimine on küllalki keeruline. Humalaistanduse puhul on eesmärgiks just mulla niiskustaseme tõstmine, kuid uduniisutus pole selle jaoks kindlasti piisavalt efektiivne.

Veekahuri süsteem on humala jaoks liialt tugeva survega ning võib kergesti kahjustada taime, kuna kahur peaks asetsema taimede vahel. Lisaks peseb ka veekahur humala taimekaitsevahendid maha.

Sellest tulenevalt jääb meil järgi kaks potentsiaalselt sobivat kandidaati – imbsüsteem ning üleujutus.

3.3.2. Kriteeriumite valik

Kriteeriumite valikul lähtusime humalaistanduse kirjeldusest, istanduse rajaja nõuetest ning põllu omapäradest.

Humalaistandusest tulenevate kriteeriumite alla kuulub näiteks nii taimekaitsevahendite kasutamine kui ka humala suurusest ja niiskuvajadusest tulenevad nõuded.

Põllu omapärade alla loetakse põllu suurus ning mullatüüp, samuti mängib oma rolli põllul olemasoleva süsteemi kasutus.

Istanduse nõuete osas on oluline töö automatiseeritus ning lihtsus.

3.3.3. Kriteeriumite võrdlustabel ja tulemused

Tabel 1. Imbsüsteemi ja üleujutussüsteemi võrdlus

	Imbsüsteem	Üleujutus
<i>Istandus</i>		
Võimaldab kasutada taimekaitsevahendeid (masinate ligipääs ning ei pese maha kaitsevahendeid)	+	+
Täidab põllu lisavee vajaduse (ligikaudu 500 mm).	+	+
Niisutussüsteem sobilik kõrge kasvuga (7 m) taimedele	+	+
Ei takista humalate koristamist (masinate ligipääs)	+	+
<i>Põllu omapära</i>		
Niisutussüsteem sobib savisele mullale	+	-
Võimalik osaliseks rakendada olemasolevat niisutussüsteemi	+	+
<i>Rajaja nõuded</i>		
Väikesed tööjõukulud	+	+
Täisautomaatne lahendus	+	+
Madal alginvesteering	-	+
Kõrge efektiivsus	+	-
KOKKU	9	8

Valiku tulemused

Mõlemad niisutussüsteemid täitsid suure osa nii humalaistanduse, põllu omapära kui ka rajaja kehtestatud nõuetest. Ühe punktiga võitis siiski imbkastmissüsteem, mille ainukeseks negatiivseks kriteeriumiks on kõrge alginvesteering. Üleujutussüsteemi puhul sai otsustavaks sobimatus savise mullatüübiga ning madal efektiivsus.

Istanduse rajaja arvates on imbkastmissüsteem alginvesteeringu suuruselt olenemata mõistlik valik võrreldes teise alternatiiviga, kuna üleujutusmeetod Nõmme põllu mullatüübiga kokku ei sobi.

4. NIISUTUSSÜSTEEMI VALIK NÕMME PÕLLU HUMALAISTANDUSELE

4.1. Pumbajaama valimine

Olemasoleva süsteemi rajamisel on kasutatud teras torusid mõõtmega 3". Veetarve humalale on hooajal 700...800 mm (maikuust koristuseni).

Lähteandmed

Istanduse mõõtmed: taimerea pikkus 150 m, taimerea laius 3 m, taimeridasid 15 rida, seega on põllu külje pikkused 45 m ja 150 m

Veevajadus taime kohta: 60 l nädalas ehk 8,6 l päevas (vt. ptk 2.1)

Kastmisotsiku toimimiseks on vajalik süsteemi rõhk: 1...4 bar (Joonis 18)

Kastmise tsüklid: 3 korda ööpäevas, kestusega 2 h (hommik, lõuna, õhtu)

Taimede hulk istanduses: 2122 istikut

Imbtorustiku pikkus on 150 m x 15 rida = 2250 m

PEM toru pikkus (istanduse laius + tee pumbani): 54 m

Piiragu seab veeseadus, mis sätestab: vee erikasutustuba on vaja kui pinnaveekogust tarbitakse ööpäevas üle 30 m³ vett

Kõrguste vahe hüdrandil ja Koopsi järvel on 0 m. Mõlema kõrgus merepinnast on 51m.

Ühe taime veevajadus tunni kohta leitakse valemiga:

$$Q_h = \frac{V_{60}}{7 \times 3 \times t_2}, \quad (4.1.)$$

kus Q_h – ühe taime veevajadus tunnis l/h;

V_{60} – ühe taime veevajadus nädalas l;

7 – päevade arv nädalas;

- t_2 – tsükli kestus h;
 3 – tsüklite arv päevas.

Ühe taime veevajadus tunnis $Q_h = 1,4$ l/h.

Kogu istanduse taimede veevajadus tunni kohta leitakse valemiga:

$$V_h = Q_h \times n_{2122}, \quad (4.2.)$$

kus V_h – kogu istanduse veevajadus tunni kohta m^3 ;

Q_h – taime veevajadus tunnis l/h;

n_{2122} – taimede arv istanduses.

Kogu istanduse taimede veevajadus on tunnis $V_h = 2970,8 \text{ l} \sim 3 \text{ m}^3$.

Päevane vee vajadus kogu istanduse taimede kohta leitakse valemiga:

$$V_p = V_h \times 3 \times t_2, \quad (4.3.)$$

kus V_p – päevane veevajadus kogu istanduse taimede kohta m^3 ;

V_h – vee tarve tunnis kogu istanduse taimede kohta m^3 ;

3 – tsüklite arv päevas;

t_2 – tundide arv tsükliks h.

Päevane vee vajadus kogu istanduse taimede kohta $V_p = 18 \text{ m}^3$.

Järeldame, et veeseaduse kohaselt on selline vee koguse tarbimine seaduse piires.

Vajalik pumba jõudlus (l/min) leitakse valemiga:

$$e = \frac{V_h \times 1000}{t_{60}}, \quad (4.4.)$$

kus e – pumba jõudlus l/min;

V_h – vee tarve tunnis kogu istanduse taimede kohta m³;

t_{60} – minuteid tunnis.

Vajalik pumba jõudlus $e = 50$ l/min.

Vee voolukiirus olemasolevas torustikus arvestades imbtorude hüdraulilist taksitust

Vee voolukiiruse arvutamine *on-line* kalkulaatori [43] abil, kus on vaja lähteandmeid:

$$d = 3''$$

$$e = 50 \text{ l/min}$$

Vastavalt kalkulaatori tulemustele on voolukiirus olemasolevas torustikus $V \sim 0,2$ m/s.

Rõhukadu olemasolevas torustikus

Rõhukao arvutamise jaoks kasutatakse *on-line* kalkulaatorit [44], mille jaoks on vajalikud lähteandmed:

$$V_h = 3 \text{ m}^3$$

$$d = 3''$$

$$l = 800 \text{ m}$$

Tulemus on $\Delta p = 0,05$ bar 800 m toru kohta.

Rõhulangu teisendus pumba tõstekõrguseks

Väärtuste tabelit (Joonis 17) kasutades on $\Delta p = 0,05$ bar = 0,5 m.

Table of Pressure Conversions for Water at 4°C

Head metres	feet	Pressure bar	psi
0.50	1.64	0.05	0.71
1.00	3.28	0.10	1.42
1.50	4.92	0.15	2.14
2.00	6.56	0.20	2.85
5.00	16.40	0.49	7.12
10.00	32.81	0.98	14.24
15.00	49.21	1.47	21.36
20.00	65.62	1.96	28.48
30.00	98.43	2.94	42.72
40.00	131.23	3.92	56.96
50.00	164.04	4.91	71.19
100.00	328.08	9.81	142.39
150.00	492.13	14.72	213.58
200.00	656.17	19.62	284.78
500.00	1640.42	49.05	711.94
1000.00	3280.84	98.10	1423.88

Joonis 17. Rõhulangu teisendus.

Rõhukadu imbtoru süsteemis

Kasutades Joonist 18, leitakse süsteemi toimimiseks vajalik rõhk. Torude otsikute kaugus 1 m ja $Q_h = 1,4$ l/h.

MAX. LATERAL LENGTH (METER) AT DIFFERENT INLET PRESSURE AND DIFFERENT SLOPES

UNIRAM™ AS 16009/16010/16012 • ID 14.2 MM • KD 1.3 • FLOW RATE 1.6 L/H

		DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (METER)								
UPHILL 2%	INLET PRESSURE (BAR)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	1.0	51	71	88	103	116	127	138	147	155
	1.5	67	95	119	141	160	179	195	210	224
	2.0	78	110	140	166	191	214	234	254	272
	2.5	86	123	156	187	214	241	265	288	309
	3.0	93	133	170	204	235	263	290	316	340
	3.5	100	143	182	218	251	284	313	341	367
	4.0	105	151	192	231	267	301	333	363	391
FLAT TERRAIN	1.0	56	80	103	124	144	163	182	200	216
	1.5	70	101	130	158	184	208	231	254	276
	2.0	81	116	150	181	211	239	266	293	318
	2.5	89	128	165	200	233	265	294	324	352
	3.0	96	139	178	216	252	286	318	350	380
	3.5	102	147	190	230	268	305	339	373	405
	4.0	108	155	200	243	283	321	358	393	428
	DOWNHILL 2%	1.0	60	89	117	145	173	200	228	255
1.5		74	108	142	175	206	238	269	299	329
2.0		84	122	160	197	232	266	300	333	365
2.5		92	134	175	214	252	289	325	360	395
3.0		98	144	187	229	269	309	346	384	421
3.5		104	152	198	242	285	326	366	405	444
4.0		110	160	208	254	299	342	384	425	464

Minimum considered pressure 0.5 bar

Max. working pressure according the dripperline wall thickness definition

Joonis 18. Imbtoru spetsifikatsioon [46].

Tulemuseks on $p = 1,5$ bar, mis teisendatakse pumba tõstekõrguseks kasutades Joonis 17 välja toodud andmeid.

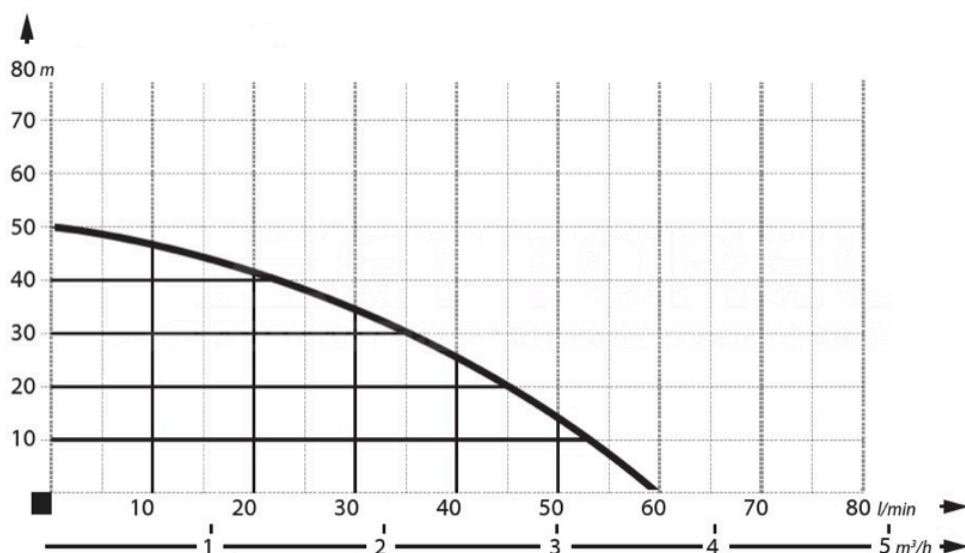
$$\Delta p = 1,5 \text{ bar} = \sim 15 \text{ m.}$$

4.2. Niisutussüsteemi komponentide valik ja hind

Lähtuvalt pumbale arvatud jõudlusele on vajalik vee pump, mille jõudlus $e > 50$ l/min. Tõstekõrgus peab olema vähemalt 17 m.

Lähtudes vajadusest kasta humalaid tsüklitena on ainuke võimalik pumba käitamise tüüp elektri asünkroon mootor, mida on võimalik automatiseerida. Niisutussüsteemi efektiivsemaks reguleerimiseks on soovitatav kasutada vihmaseensorit. Pumba mootori jaoks vajalik elektri liitumispunkt asub katsepõllu ääres.

Näiteks sobib pumbaks tsentrifugaalpump IBO AJ 50/60 hüdrofoor 50 l (Tabel 1), mille võimsus on 1100 W, jõudlus 60 l/min, tõstekõrgus 50 m, imemiskõrgus 8 m [47]. Ühenduskeere on 1". Lähtuvalt pumba ühenduskeermest, saab jätkata pumbast kuni imbtorudeni 1" toruga.



Joonis 19. Pumba graafik [47]

Antud vooluhulgale sobib Uniram AS imbtoru mille otsikud on 1 m vahega. Toruga niisutatakse 276 m (Joonis 18) pikkuse rea 1,5 bar juures 1,6 l/h. Tootja andmetel paigutatakse voolik pinnasesse 10 cm sügavusele. Imbtoru on kokku vaja $15 \times 150 = 2250$ m.

Tabel 2. Komponentide hinnad

Komponent	Hind, €	Kommentaar
Tsentrifugaal pump IBO AJ 50/60 hüdroom 50 l [47]	160,66	-
Uniram AS imbtoru 2250 m [48]	990	0,446 €/m x 2250 m
Filter 3" Tagline Disc Filter 130 micron – 1175 cm ² Max.50 m ³ /h [48]	174,78	-
25 mm PEM toru pumbast imbtorudeni 54 m	41,04	0,76 €/m x 54 m
Pumba kontrollerr Aquapro [48]	68,17	-
800m plastik toru 2" (juba olemasoleva (3") torustiku asendamine 2" toruga) [48]	1536	Rõhulangu arvutus kasutades kalkulaatorit [44] on 0,34 bar, mis sobib ka välja valitud pumbaga. 1,92 €/m x 800 m
Vihmasensor Aqualin Irrigation Controller [50]	17,59	Soovituslik lisa
KOKKU	1452,24	koos vana süsteemi asendusega 2988,24 €

Vajalik alginvesteering on vähemalt ~1 500 €, sellele hinnale lisanduvad liitmikud, üleminekud ja transporditasud. Kui on soov vahetada välja ka vana juba olemasolev torustik, lisandub hinnale ~1 500 €.

5. KOKKUVÕTE

Antud töö põhieesmärgiks oli analüüsida ning valida välja Nõmme põllule rajatava humalaistanduse niisutussüsteem ning koostada niisutussüsteemi plaan.

Töö esimeses pooles loodi ülevaade humalast ja humalaistandusest (sh spetsiaalsest toestussüsteemist), lisaks tutvustati humala kasutusalasid ning kasvatust Eestis. Lisaks anti põhjalik ülevaade põllumajanduslikest niisutussüsteemidest.

Töö teises pooles ühendati humalaistanduse nõuded niisutussüsteemide kirjeldustega, mis aitas autoril esialgu teha valikut välistamiseetodi abil. Pärast välistamiseetodit oli vaja võrdlustabelit järele jäänud valikutest ning see aitas autoril teha lõpliku valiku. Järgmiseks planeeris autor valituks osunud niisutussüsteemi Nõmme põllule ning tegi komponentide nõuete välja selgitamiseks mitmeid arvutusi. Vastavalt välja selgitatud nõuetele sai valida sobiv tehnika ning see ka hinnastada.

Töö tulemusena planeeriti Nõmme põllule humalale sobiv reaalselt rakendatav niisutussüsteem koos komponentide maksumusega.

Töö järelduseks väidab autor, et humalaistanduse jaoks on võimalik rajada Nõmme põllule automaatne ja veeseadustega kooskõlas olev niisutussüsteem, mille komponentide maksumus jääb alla 2000 € piiri.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Kekkila Estonia. Ronitaimed - Harilik humal [veebileht] <https://www.kekkila.ee/kekkila-taimeraamat/harilik-humal/> (25.06.2019)
2. Harilik humal [veebileht] <http://taimed.loodus.ee/harilik-humal> (26.06.2019)
3. **Raal, A.** (2003). Taimedes talletuv tervis. Valgus. Lk 33-35.
4. Calmia Istikuäri. Harilik humal [veebileht] <https://www.calmia.ee/Taimed/Ronitaimed/humal.htm> (25.06.2019)
5. **Raal, A.** (2010). Farmakognoosia. Tartu Ülikooli Kirjastus. Lk 130-131.
6. Humal (Humulus lupulus) [veebileht] <http://bio.edu.ee/taimed/oistaim/humal2.htm> (25.06.2019)
7. Aednik soovib: Metsataimede kasvatamine koduaias [veebileht] <https://www.hortes.ee/2016/03/11/aednik-soovib-metsataimede-kasvatamine-koduaias/> (26.06.2019)
8. The Hop Plant Dissected [veebileht] <https://lisameoli.wordpress.com/2015/11/04/the-hop-plant-dissected/> (26.06)
9. **Carter, P.R., Oelke, E.A., Kaminski, A.R., Hanson, C.V., Combs, S.M., Doll, J.D., Worf, G.L., and Oplinger, E.S.,** Hop, 1990 [veebileht] <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/hop.html> (26.06.2019)
10. **Morton, L. W., Gent, D., Gleason, M.** (2017). Climate, Weather and Hops, Iowa State University
11. **Mätlik, A.** (1943). Humalad ja humalakasvatus. lk 66
12. **Morton, R.G.** (2013). Nova scotia hop grower guide. – Morton Horticultural Associates.
13. Tilk - ja imbkastmissüsteemid [veebileht] <http://topgreen.ee/2016/09/16/tilk-ja-imbkastmissusteemid/> (25.06.2019)
14. Drip Irrigation [veebileht] <http://www.fao.org/3/S8684E/s8684e07.htm> (25.06.2019)
15. Different Types And Functions Of Drip Irrigation Emitters [veebileht] http://www.irrigationrepair.com/drip_system_different_types_functions_emitters.html (25.06.2019)
16. Flood Irrigation Introduction [veebileht] http://www.allianceforwaterefficiency.org/Flood_Irrigation_Introduction.aspx (26.06.2019)
17. Sprinkler Irrigation [veebileht] <http://www.fao.org/3/S8684E/s8684e06.htm> (26.06.2019)

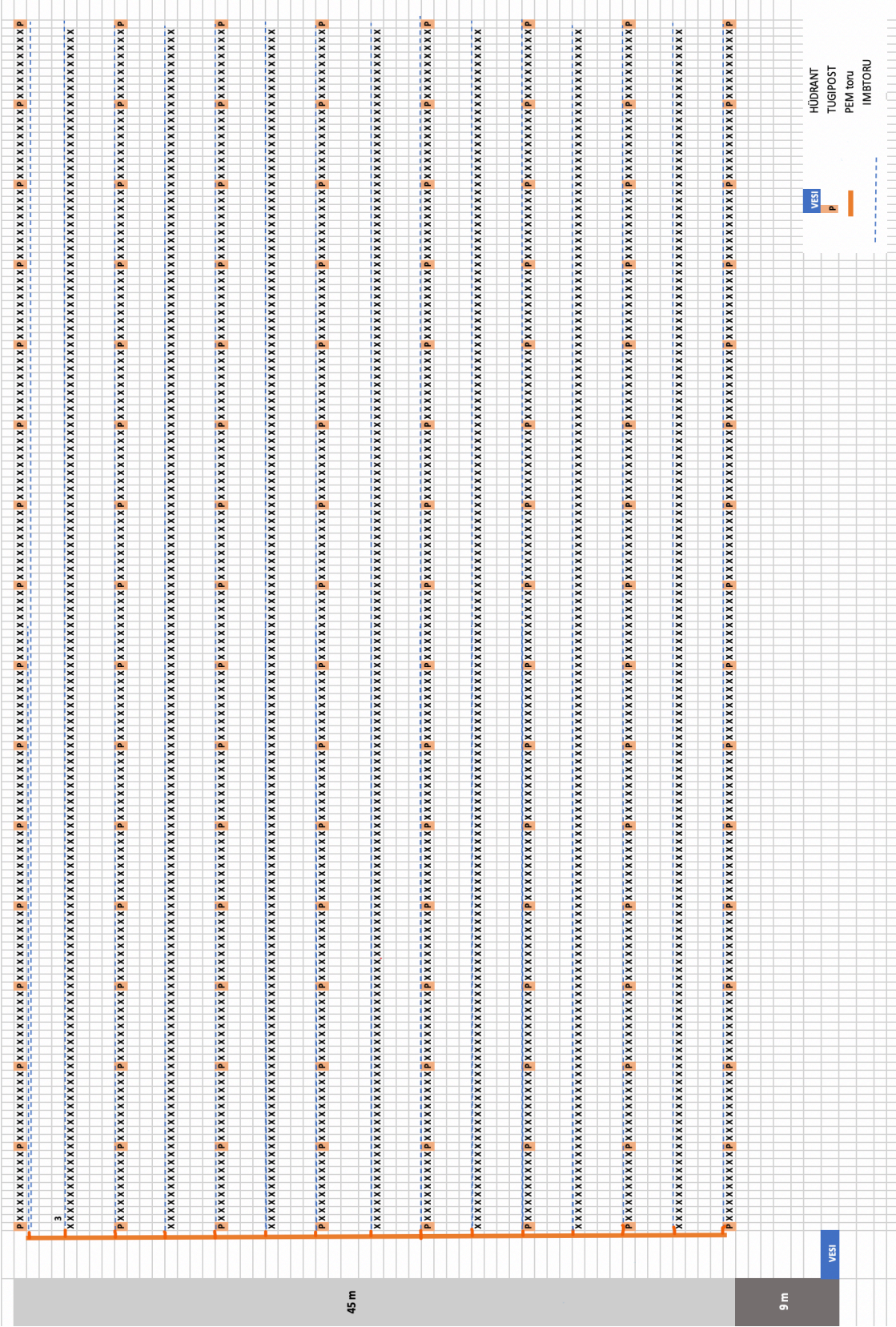
18. Irrigation Management [veebileht] <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/sprinkler-irrigation> (26.06.2019)
19. The Pioneer of Center Pivot Irrigation [veebileht] <http://www.valleyirrigation.com/equipment/center-pivots>
20. Hand Move/Solid Set [veebileht] <https://www.hastingsirrigation.com/irrigation/hand-move-solid-set/> (01.07.2019)
21. Senninger Triad [veebileht] <https://www.senninger.com/irrigation-product/triad> (07.07.2019)
22. Hose-move sprinkler irrigation [veebileht] <http://www.fao.org/3/a1336e/a1336e08.pdf> (06.07.2019)
23. **Evans, R., Sneed, R. E.** (1996) Selection and Management of Efficient Hand-move Solid Set and Permanent Irrigation System [veebileht] <https://content.ces.ncsu.edu/pdf/selection-and-management-of-effi/2014-09-29/selection-and-management-of-efficient-hand-move-solid-set-and-permanent-irrigation-system.pdf> (04.07.2019)
24. What Are The Different Types of Farm Irrigation Systems? [veebileht] <https://www.atsirrigation.com/what-are-the-different-types-of-farm-irrigation-systems/> (04.07.2019)
25. **Martin, D.L., William M. Lyle, Kincaid, Dennis C.** (2007) *Design and operation of sprinkler systems* [Online] Researchgate (28.06.2019)
26. **Voronov, J., Kovaljov, L., Ustinov, A.**(1975). *Põllumajandusmasinad* lk. 416
27. Different Types of Irrigation and Irrigation Systems Storage [veebileht] <https://www.civilserviceindia.com/subject/General-Studies/notes/different-types-of-irrigation-and-irrigation-systems-storage.html> (05.07.2019)
28. Micro-irrigation: The "drop by drop" process [veebileht] <https://wikiwater.fr/E53-Micro-irrigation-The-drop-by-drop-process> (04.07.2019)
29. Hose reels [veebileht] <http://chiraharit.com/hose-reels/> (06.07.2019)
30. **R. Beatson, S. Kenny, S. Pethybridge, D. Gent** (2009) Hop production Lk 5-8
31. Maa-ameti Maainfo kaardirakendus
32. **Eschman C.** (2016) The Many Magical Uses for Hops [veebileht] <https://vinepair.com/wine-blog/the-many-magical-uses-for-hops-besides-brewing/> (14.07.2019)
33. *Oma Maitse* (2016) Algaja õllepruulija kool: Mis asi on humal, kuidas kasvatada ning mida õllele annab? [e-ajakiri] <https://omamaitse.delfi.ee/toidutrendid/algaja-ollepruulija-kool-mis-asi-on-humal-kuidas-kasvatada-ning-mida-ollele-annab?id=73416107> (11.07.2019)
34. **Niiber, T.** (2019) Humala lehed sobivad salatisse [veebileht] <https://maaelu.postimees.ee/6706222/humala-lehed-sobivad-salatisse> (10.07.2019)

35. **Prass, I.** (2016) Humal rahvaravis [veebileht] <http://www.manaratas.ee/2016/07/humal-rahvaravis.html> (11.07.2019)
36. **Bernot, K.** Trending: Foods Flavored with Hops [veebileht] <https://draftmag.com/trending-foods-flavored-with-hops/> (14.07.2019)
37. World Wildlife Fund. Wasteful water use [veebileht] wwf.panda.org (15.07.2019)
38. **Aberbeke, W. Van, Denison, J.** (2011) Smallholder irrigation schemes in South Africa [veebileht] http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502011000500021 (14.07.2019)
39. Annika Karusion. Estonian Science Photo Competition
40. Irrigation Australia. Leading industry for a sustainable development: Drip Irrigation [veebileht] <https://www.irrigationaustralia.com.au/about-us/types-of-irrigation/drip-irrigation> (12.07.2019)
41. **Lembur, A.** Maaviljeluse instituut näeb Saaremaa koduõllemeistritel tulevikku, Saare Hääl (2010) [veebileht] <https://arhiiv.saartehaal.ee/2010/10/09/maaviljeluse-instituut-naeb-saaremaa-koduollemeistritel-tulevikku/> (13.07.2019)
42. **Eyck, L. T., Gehring, D.** Hop Grower's Handbook (2015) [on-line] <https://books.google.ee/books?id=aM08DAAAQBAJ&pg=PA59&lpg=PA59&dq=hop+yard+water&source=bl&ots=WpKLVom50i&sig=ACfU3U2o8EX40svnEx0kNXH19rWxHIB4-w&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiK797PzoTkAhUOy6YKHSggCCQQ6AEwGnoECAYQAQ#v=onepage&q=hop%20yard%20water&f=false> (19.07.2019)
43. Diameter Velocity and Flow Rate Ultra Calculator [veebileht] <http://www.1728.org/flowrate.htm> (22.07.2019)
44. Pressure Drop Online-Calculator [veebileht] <http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator/> (05.08.2019)
45. Head to Pressure Converter [veebileht] <http://www.mydatabook.org/fluid-mechanics/pumps/head-to-pressure-converter/> (15.08.2019)
46. Uniram™ AS. Integral Pressure-Compensating Continuously Self-Cleaning, Anti-Siphon Mechanism Dropper [veebileht] <http://www.netafimuk.com/Data/Uploads/170806%20UniRam%20AS%20technical%20information.pdf> (15.08.2019)
47. Ettorel sanitaartehnilised ja elektritööd. Veeautomaat AJ 50/60 [veebileht] <https://www.ettorel.ee/product/veeautomaat-aj-50-60-tsentrifugaalpump-ibo-aj-50-60-hydrofoor-50l/?fbclid=IwAR2g8nxqDtRxq6IzclY04n5FV2eUmP66emcNIbdMgmnzIzNIL2jYnF6wpFk> (15.08.2019)

48. Netfim. General Price List [veebileht] <http://www.netafim.com.ro/netafim-catalog-2016.pdf>
(18.08.19)
49. Bauhof. Toru PEM [veebileht] <https://www.bauhof.ee/et/toru-pem-25-x-2-3mm-pn12-5-593448> (19.08.19)
50. Aliexpress. Rain sensors [veebileht] www.aliexpress.com/popular/rain-sensor.html
(20.08.2019)

LISAD

Lisa 1. Detailne planeeritav humalaistanduse plaan Nõmme põllule



Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks (avaldamise tähtajatu piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1) annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

HUMALAISTANDUSE NIISUTUSSÜSTEEM NÕMME PÕLLULE

(*lõputöö pealkiri*),

mille juhendaja(d) on Dr.Eng. Arvo Leola, MSc Matis Luik

(*juhendaja(te) nimi*),

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sh digitaalarhiivis DSpace säilitamise eesmärgil kuni

autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2) olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3) kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____ (*allkiri*)

Tartu, _____ (*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ (*juhendaja nimi ja allkiri*)

_____ (*juhendaja nimi ja allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

_____ (*kuupäev*)